

拘束リング試験による高温環境下でのコンクリートの爆裂発生指標の検討

正会員	○谷辺 徹* ¹
同	鎌田 亮太* ¹
同	小澤 満津雄* ²
同	六郷 恵哲* ³

コンクリート	爆裂	熱応力
拘束応力	RABT 加熱曲線	引張破壊ひずみ

1 はじめに

火災時におけるコンクリートの爆裂発生原因は、コンクリート中の水分により生じる水蒸気圧説と熱膨張の拘束や温度分布に起因する熱応力説、そして、その複合作用説が報告されている¹⁾。しかし、熱応力測定結果から爆裂を評価した例は少ない。そこで筆者らは、拘束リングを用いて熱応力(以後拘束応力と同義とする)を測定するコンクリートの爆裂評価方法を提案した。その結果、実験的に拘束応力と爆裂の関係を評価できる可能性を見出すことができた²⁾。

本報では、拘束リング試験方法によるコンクリートの加熱試験データを用いて、爆裂発生メカニズムを検討した結果を以下に報告する。

2 実験概要

2.1 供試体

図-1に供試体の概要を示す。拘束リングに W/C が 0.3 の高強度コンクリート (Fc : 90MPa, Ec : 42GPa, 含水率 3.1%) を充填して供試体とした。

2.2 加熱条件

加熱条件は、急速加熱条件での性状を評価するため、トンネル構造物の耐火性評価に適用されている RABT 加熱曲線 (5分間で 1200℃まで昇温-30分保持) を採用した。

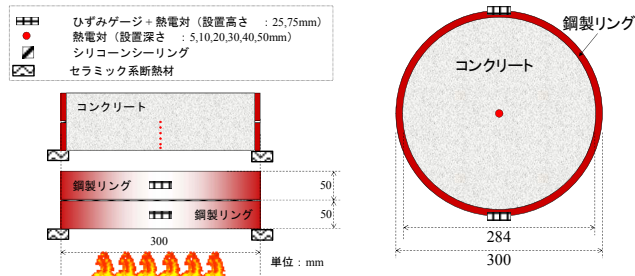


図-1 供試体概要

2.2 測定項目

a) 供試体温度

図-1に熱電対の設置位置を示す。供試体の各部温度の測定には、クラス2のガラス被覆K型熱電対を用いた。

b) 爆裂現象

観察用窓から、コンクリートの飛散物を目視にて観察した。また、加熱試験後に供試体の加熱表面からの欠損深さを20mm間隔にて測定し、爆裂深さを求めた。

c) 拘束リングのひずみ

拘束リング外周面にひずみゲージ (耐熱温度 : 80℃) を設置し (図-1参照)、円周方向ひずみを測定した。式 (1) を用いてコンクリートに生じる拘束応力を算出した。

3 試験結果

3.1 温度測定結果

図-2にコンクリートおよび拘束リングの温度測定結果を示す。コンクリートは 140℃~340℃の領域で爆裂が発生していることがわかる。下段の拘束リング中央部の温度は、7分過ぎで 80℃程度であり、爆裂発生時間内でひずみゲージの温度補償内にあることがわかった。

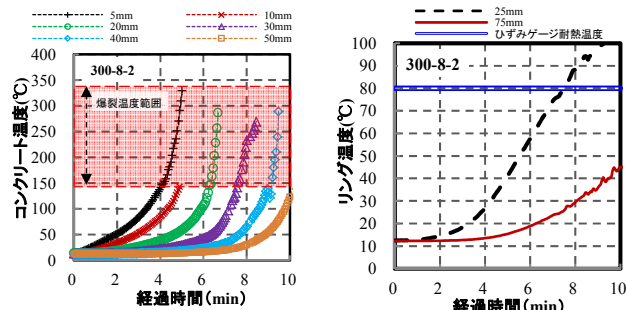


図-2 温度測定結果

3.2 爆裂進行状況

コンクリート内部の各熱電対が測定不能もしくは急激な温度上昇を示した時間とその深さから、爆裂深さと経過時間の関係を求めた (図-3)。図より、爆裂進行は、10mm/分程度で徐々に深くなる傾向を示した。

3.3 拘束応力測定結果

図-4に拘束リングのひずみから式 (1) を用いて算出した拘束応力と経過時間の関係を示す。また、拘束応力はコンクリート温度上昇量に比例すると仮定し、25mm 位置

の拘束応力を基準とし、経過時間 3 分と 5 分時の拘束応力分布を推定した。温度上昇量分布および応力分布の推定結果を図-5, 6 に示す。

$$\sigma_{restrain} = \varepsilon_{\theta} \cdot E_s \cdot \frac{t}{R} \quad (1)$$

$\sigma_{restrain}$: 拘束応力
 ε_{θ} : リング材円周方向ひずみ
 t : リング材厚さ
 E_s : リング材ヤング係数
 R : リング内半径

4 爆裂発生指標の検討

4.1 爆裂の破壊メカニズム

丹羽らは、二軸圧縮応力下における破壊を自由面に平行に薄片状の破壊としてモデル化した(図-7)³⁾。二軸圧縮応力状態下(xy軸)において、面外(z軸)方向に引張ひずみが生じ、この引張ひずみがある限界値を超えると破壊が生じるとするモデルである。拘束リング試験では、加熱によるコンクリートの熱膨張がリングに拘束されることにより、二軸圧縮応力状態となる。このとき、垂直方向に引張ひずみが生じ、破壊に至ると推察した。

4.2 ひずみ破壊指数の検討

拘束応力と断面深さの関係から式(2)、(3)を用いて垂直方向の引張ひずみ(ε_z)を推定した。また、式(4)より、ひずみ破壊指数($I_{\varepsilon-f}$)を求め、ひずみ破壊指数が1となる場合を破壊が発生する限界値とした。ここで、コンクリートの力学特性の温度依存性を以下の様に考慮した。弾性係数残存比は、日本建築学会の提案値、ポアソン比(ν_c)と引張破壊ひずみ(ε_{t-f})は、道越ら⁴⁾のデー

タからそれぞれ、0.15, 0.20, 0.25, 0.30の4水準と200 μ , 300 μ , 400 μ , 500 μ の4水準を適用した。各深さのひずみ破壊指数が限界値に達した時、爆裂が生じると仮定し、爆裂深さ(推定値)の経時変化を求め、爆裂進行深さ(実験値)と比較した(図-8)。

$$\varepsilon_{x,y} = \sigma_{x,y} / E_c \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = 2\varepsilon_{x,y} \cdot \nu_c \quad (3)$$

$$I_{\varepsilon-f} = \varepsilon_z / \varepsilon_{t-f} \quad (4)$$

σ_{xy} : コンクリートの水平方向応力(拘束応力)
 ε_{xy} : コンクリートの水平方向ひずみ
 ε_z : コンクリートの垂直方向ひずみ
 ε_{t-f} : コンクリートの引張破壊ひずみ
 E_c : コンクリートの弾性係数
 ν_c : コンクリートのポアソン比
 $I_{\varepsilon-f}$: コンクリートのひずみ破壊指数

5 まとめ

- (1) 爆裂発生時のコンクリートの応力状態を二軸圧縮応力状態とし、爆裂の破壊メカニズムを加熱面の面外方向に生じる引張ひずみ破壊と推察した。
- (2) 爆裂発生指標にひずみ破壊指数($I_{\varepsilon-f}$)を用いて評価した結果、爆裂深さの進行状況とよく整合しており、爆裂発生指標として適用できる可能性があることが分った。

参考文献

- 1) 森田武: コンクリートの爆裂とその防止対策, コンクリート工学, Vol. 45, No.9, pp. 87 - 91, 2007.
- 2) 谷辺徹, 小澤満津雄, 鎌田亮太, 六郷恵哲: 拘束リング試験法を適用したコンクリート高温環境下における耐爆裂性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1138 - 1143, 2012.
- 3) 丹羽義次, 小柳治, 小林昭一: 人工軽量コンクリートの三軸圧縮破壊条件, 土木学会論文集, 第 143 号, pp.28 - 35, 1967.7
- 4) 道越真太郎, 小林裕, 黒岩秀介: 圧縮力を受けるコンクリートの高温時におけるひずみ挙動, 日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, pp.169 - 174, 2007.

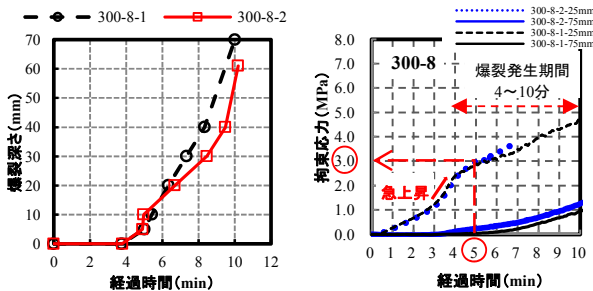


図-3 爆裂深さの経時変化

図-4 拘束応力測定結果

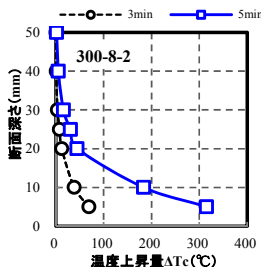


図-5 温度上昇量 vs 断面深さ

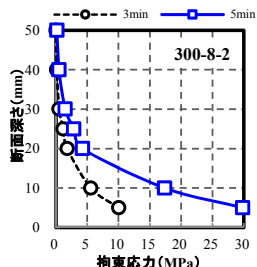


図-6 拘束応力 vs 断面深さ

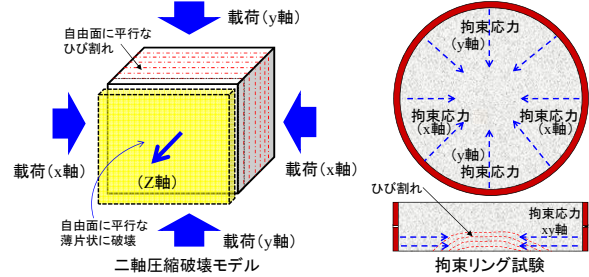


図-7 破壊のプロセスのイメージ

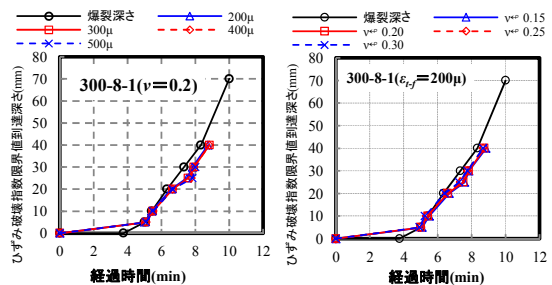


図-8 爆裂深さ vs 破壊基準到達深さ

*1 太平洋マテリアル(株) 開発研究所
 *2 群馬大学 理工学研究院 環境創生部門
 *3 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科

*1 Research & Development Laboratory, Taiheiyo Materials Corporation
 *2 Gunma University, Faculty of Engineering
 *3 Gifu University, Department of Civil Engineering